

(19) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
PARIS

(11) N° de publication :
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

2 538 970

(21) N° d'enregistrement national :

83 00064

(51) Int Cl³ : H 02 K 15/02 // 1/14, 1/24.

(12)

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

(22) Date de dépôt : 5 janvier 1983.

(30) Priorité

(43) Date de la mise à disposition du public de la
demande : BOPI « Brevets » n° 27 du 6 juillet 1984.

(60) Références à d'autres documents nationaux appa-
rentés :

(71) Demandeur(s) : *KHAIT Yakov Moiseevich et BOIKO Ev-
geny Petrovich.* — SU.

(72) Inventeur(s) : Yakov Moiseevich Khait et Evgeny Petro-
vich Boiko.

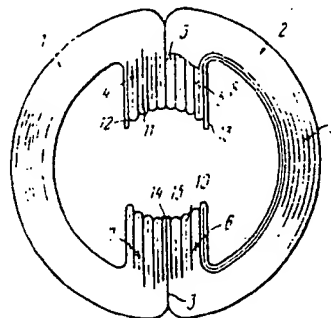
(73) Titulaire(s) :

(74) Mandataire(s) : Marc-Roger Hirsch.

(54) Circuit magnétique pour machine électrique à pôles saillants.

(57) Le circuit magnétique est réalisé à partir d'éléments ma-
gnétiques disposés de manière à former des trajets magnéti-
ques entre des pôles opposés. Les éléments magnétiques 1, 2
sont obtenus à partir d'une bande ondulée continue 8 formée
en un seul bloc, les plis de la bande 8 étant disposés entre les
pôles de noms contraires de manière à former en même temps
un pôle et une partie de culasse 9. La largeur de chaque
élément magnétique 1, 2 est égale à la longueur du circuit
magnétique.

Application aux machines électriques à pôles saillants à
courant continu et à courant alternatif.



FR 2 538 970 - A1

CIRCUIT MAGNETIQUE POUR MACHINE ELECTRIQUE
A POLES SAILLANTS

La présente invention s'applique aux machines électriques et a notamment pour objet un circuit magnétique pour machine électrique à pôles saillants.

L'invention peut être appliquée dans des machines électriques à courant continu et à courant alternatif.

On connaît un moteur asynchrone à pôles saillants dans lequel le circuit magnétique du stator est feuilleté et où chaque bande est dotée d'encoches destinées au logement et au montage d'un enroulement auxiliaire (cf. L.M. Piotrovsky "Machines électriques", Moscou, 1974, p. 360-361). L'inconvénient de ce mode de réalisation résulte dans le fait que les chutes après emboutissage des tôles du circuit magnétique du stator sont importantes (jusqu'à 50%). On n'utilise alors que de l'acier isotrope qui, du fait de sa structure, impose actuellement des restrictions en ce qui concerne la saturation du circuit magnétique en direction des pôles de la machine, puisque l'induction maximale possible dans ceux-ci est de l'ordre de 1,65 T.

On connaît également des machines électriques à courant continu (cf. P. S. Sergeev, N.V. Vinogradov, F. A. Goriainov "Etudes des machines électriques", Moscou, 1969, p. 269-271) où le pôle principal est découpé dans une tôle d'acier de 1 à 2 mm d'épaisseur. Dans les anciens types de machines électriques, les noyaux de pôles étaient coulés avec la carcasse et des épanouissements polaires composés de tôles maintenues ensemble y étaient fixés à l'aide de vis. Par contre, dans les machines modernes, les pôles sont entièrement découpés dans des tôles d'acier et fixés sur la carcasse à l'aide de boulons.

Pour les réunir à l'aide des rivets, les feuilles sont percées de trous.

Les pôles fabriqués à partir de tôles découpées nécessitent beaucoup de main d'oeuvre à la fabrication, car l'empilage et l'assemblage par goujons sont effectués à la main. En outre, même le découpage le plus économique donne jusqu'à 30-40 % de déchets et de chutes de métal.

On connaît également un pôle de machine électrique comprenant, disposés en alternance et séparés par une couche isolante, des éléments conducteurs de courant et des éléments ferromagnétiques réalisés sous forme d'une bobine enroulée (cf. le certificat d'auteur de l'Union Soviétique n° 375733).

Bien que, dans ces machines, le profil de la bobine soit réalisé suivant le rayon, en s'adaptant à la couronne courbe et au côté tourné vers le rotor, les bobines sont très difficiles à réaliser sur le plan technologique.

Tout d'abord, le rayon extérieur et le rayon intérieur du pôle étant différents, la bobine doit être répartie vers le diamètre extérieur de la machine. Ensuite, les couches sur les faces d'extrémité du pôle et de la bobine doivent être façonnées de manière compliquée, pour respecter la courbure, ce qui conduit à un faible facteur de remplissage de l'espace par un matériau conducteur de l'électricité aussi bien que par le matériau du circuit magnétique. L'usinage ultérieur de ces pôles n'est pas non plus réalisable car on détériorerait l'isolement entre couches.

On connaît également un stator formé d'un matériau en bande plate. Son circuit magnétique est réalisé en plusieurs pièces et sa culasse et sa zone de denture sont réalisées à partir d'une bande enroulée bord à bord, les pôles de la zone de denture étant réalisés à partir d'une bande ondulée transversalement dont la largeur est égale à la longueur du circuit magnétique, et l'on a prévu, entre les pôles, des barrettes magnétiques appliquées à l'alésage de la couronne (voir le brevet américain n° 3983435).

Dans le stator connu, l'entrefer se formant entre la couronne et les pôles de la zone de denture empêche le passage du flux magnétique et, se trouvant à deux reprises dans le trajet d'une même paire de pôles, provoque une chute de l'induction magnétique et, par conséquent, une détérioration des paramètres énergétiques de la machine électrique. Cet inconvénient se manifeste d'une manière plus évidente dans des machines à courant continu, où le courant d'aimantation doit être augmenté par rapport à celui nécessaire pour les pôles emboutis, car l'entrefer augmente à cause des arêtes des plis tournés vers la culasse. Si l'on réalise un usinage ultérieur suivant le diamètre intérieur et le diamètre extérieur de la zone de denture, on provoque une diminution de la résistance mécanique de la structure et une augmentation du coût de main d'oeuvre pour la fabrication du circuit magnétique.

On connaît des circuits magnétiques en éléments magnétiques qui présen-

tent, chacun, une largeur égale à la longueur du circuit magnétique. Les éléments magnétiques sont disposés de manière à former des trajets magnétiques entre les pôles opposés (voir le brevet américain n° 2939025). Le circuit magnétique composé de bandes épaisses est caractérisé par des pertes importantes dans le fer à cause des pertes dues aux courants de Foucault qui augmentent proportionnellement au carré de l'épaisseur des bandes. En outre, de telles bandes sont difficiles à découper et à façonner selon le profil voulu, ce qui augmente le coût de la main d'oeuvre nécessaire à la fabrication du circuit magnétique. Les tôles d'acier, dont l'épaisseur est supérieure à 1,0 mm, sont caractérisées par une perméabilité inférieure à celle des tôles minces fabriquées dans le même matériau ce qui aboutit à majorer les courants d'aimantation et fait baisser le rendement de la machine électrique.

On s'est donc proposé de mettre au point un circuit magnétique pour machine électrique à pôles saillants, qui permettrait d'améliorer les paramètres énergétiques de tout l'ensemble de la machine électrique et de simplifier en même temps sa technologie de fabrication.

A cet effet, le circuit magnétique de machine à pôles saillants réalisé à partir d'éléments magnétiques présentant, chacun, une largeur égale à la longueur du circuit magnétique et disposés de manière à former des trajets magnétiques entre des pôles opposés, est caractérisé en ce que les éléments magnétiques sont réalisés à partir d'une bande ondulée continue formée en un seul bloc et en ce que les plis de la bande continue sont disposés entre les pôles opposés en formant en même temps un pôle et une partie de culasse.

L'alésage du circuit magnétique peut être formé par les arêtes des plis réalisés de manière qu'ils soient inclinés dans le sens opposé au centre du pôle et les plis peuvent être réalisés de manière que leur inclinaison augmente au fur et à mesure de leur éloignement du centre du pôle et qu'ils forment un épanouissement polaire.

D'autres buts, détails, avantages et caractéristiques de l'invention apparaîtront à la lecture de la description de différents modes de réalisation faite à titre d'exemples non limitatifs, et en référence aux dessins annexés dans lesquels :

- la figure 1 représente un circuit magnétique de machine asynchrone bipolaire monophasé à pôles saillants, selon l'invention ;

- la figure 2 représente un circuit magnétique de machine électrique à deux pôles saillants et bobinage décalé, selon l'invention ;

- la figure 3 représente un circuit magnétique de machine électrique à quatre pôles saillants, selon l'invention ;

- la figure 4 représente un pôle à encoche de machine asynchrone, selon l'invention ;

- la figure 5 représente un circuit magnétique en plusieurs pièces pour un rotor de machine électrique à pôles saillants, selon l'invention ;

- la figure 6 représente l'un des blocs à bonne perméabilité magnétique constituant le circuit magnétique du rotor à pôles saillants, de la

5 figure 5.

Le circuit magnétique de machine électrique à pôles saillants, représenté sur la figure 1 comprend deux éléments magnétiques 1, 2, appliqués l'un sur l'autre suivant la ligne 3 de manière à former un trajet magnétique continu en deux parties entre des pôles opposés. Chaque pôle est formé des demi-
10 pôles 4 et 5, 6 et 7. Les éléments magnétiques 1, 2 sont réalisés à partir d'une bande ondulée continue 8 en matériau à bonne perméabilité magnétique, formée en un seul bloc, le pôle et la culasse 9 étant formés en même temps de la même bande 8. Le circuit magnétique représenté sur la figure 1 est celui du stator de la machine électrique (non représentée sur le dessin), les arêtes 10
15 et 11 des plis étant dirigées vers le rotor.

Chacun des éléments magnétiques 1, 2 est réalisé à partir de sa propre bande 8, les extrémités avant 12, 13 de ces bandes étant disposées sur l'un des pôles et leurs extrémités arrières 14, 15, sur l'autre.

L'alésage du circuit magnétique est délimité par les arêtes 10, 11 des
20 plis qui remontent dans le sens opposé au centre du pôle.

La figure 2 représente un circuit magnétique de machine électrique pourvue de deux pôles saillants 16, 17 et d'un bobinage décalé. Ce circuit magnétique est formé à partir d'une bande ondulée, dont l'extrémité avant 18 est disposée sur l'un des pôles (pôle 16) et dont l'extrémité 19 se trouve sur l'autre
25 pôle 17.

De manière analogue, on peut réaliser le circuit magnétique avec un nombre de pôles 20 (figure 3) supérieur à deux, ce circuit magnétique étant composé de blocs magnétiques 21 identiques. Tel qu'il est représenté sur la figure 3, le circuit magnétique à quatre pôles se compose de quatre blocs identiques.
30

Pour obtenir l'épanouissement 22 du pôle 20, il suffit d'augmenter l'inclinaison des arêtes 11 des plis au fur et à mesure de leur éloignement du centre du pôle 20.

La figure 4 représente le pôle d'une machine asynchrone monophasée, qui
35 est formé des arêtes 23 de la bande ondulée 8, une partie des arêtes (arête 24) de ce pôle étant plus courte et formant une encoche 25 recevant l'enroulement en court-circuit.

La figure 5 représente un circuit magnétique composite d'un rotor à pôles saillants 26. Des blocs magnétiques identiques 27 forment une ouverture 28
40 pour l'arbre du rotor, alors que des blocs 27 voisins sont juxtaposés selon la

ligne de séparation 29 qui coïncide avec l'axe longitudinal du pôle 26. Les espaces vides 30 se trouvant à l'extrémité des lignes 29 de séparation des blocs 27 peuvent servir de rainures pour des clavettes, destinées à empêcher le circuit magnétique de tourner sur l'arbre.

5 La figure 6 montre un bloc magnétique 31 formé d'une seule bande ferromagnétique 8, dont la largeur λ est égale à la longueur du circuit magnétique. L'épanouissement polaire est formé par les arêtes recourbées 32 du dernier pli, avant l'espace vide entre deux pôles successifs. Plus les plis sont proches du centre du pôle, moins ils sont recourbés.

10 La machine électrique, munie du circuit magnétique selon l'invention, par exemple, d'un circuit magnétique de moteur asynchrone monophasé à deux pôles fonctionne de la manière suivante: Deux éléments magnétiques 1, 2 en C, dont chacun est formé de la bande ferromagnétique continue 8, forment le circuit magnétique du stator. Les éléments sont assemblés de manière que les bords
15 de l'un soient juxtaposés aux bords de l'autre pour former des pôles orientés vers le rotor, tandis que les barrettes magnétiques reliant les pôles forment la culasse 9. Les pôles sont équipés des bobines, montées par l'un des procédés connus et un rotor (non représenté sur le dessin) est disposé entre les pôles. Le flux magnétique excité par les bobines se dirige depuis l'entrefer vers
20 les pôles et, en se dédoublant, passe par les parties de culasse 9 vers le pôle opposé. La machine fonctionne de la façon suivante: Lorsque le circuit des bobines est branché sur un réseau électrique, il provoque un flux magnétique dans le circuit magnétique, ce flux magnétique traverse le pôle, l'entrefer stator-rotor et le circuit magnétique du rotor entre deux pôles pour créer au rotor,
25 un couple moteur et il rejoint le pôle opposé du circuit magnétique du stator où il se dédouble par deux trajets suivant les barrettes de la culasse 9. Les couches du circuit magnétique sont communes pour un même pôle et séparées en deux pour les barrettes opposées de la culasse. La section du pôle étant deux fois plus élevée que la section des barrettes, le flux magnétique total dans le
30 pôle est égal à la somme des flux magnétiques dans les barrettes de la culasse

A la différence des machines électriques de type connu, par exemple du stator des machines asynchrones monophasées à pôles saillants standards, tout le volume du circuit magnétique se trouve soumis à une induction magnétique identique du fait que les couches d'acier pour circuit magnétique sont orientées
35 suivant la longueur du circuit magnétique. Le flux magnétique traverse de la même manière toutes les couches parallèles et l'induction magnétique est sensiblement la même dans toutes les sections des couches du circuit magnétique. Or, dans les machines existantes, à l'endroit disposé au-dessus du pôle, là où le flux magnétique se dédouble pour se diriger vers le côté opposé par la cula

se, une partie du circuit magnétique en forme de triangle située près de la surface extérieure n'est pas utilisée, car le flux magnétique ne la traverse pas.

Le circuit magnétique multipolaire des machines à courant continu et à courant alternatif à pôles saillants est assemblé en modules, dont le nombre est deux fois supérieur au nombre de pôles (figure 3). L'orientation des couches du circuit magnétique coïncide avec les trajets du flux magnétique, de sorte que l'emploi de l'acier magnétique doux à texture orientée, où les lignes de meilleure aimantation coïncident avec l'orientation du vecteur d'induction magnétique, est le plus efficace. Il en résulte que pour une même intensité du champ magnétique et une même section du circuit magnétique, on peut obtenir une plus grande induction égale, par exemple, à 1,8-1,9 T. De la sorte, une augmentation du flux de 14-15 % permet d'augmenter la puissance du moteur ou de diminuer d'autant en pourcentage la section du circuit magnétique. Il est à signaler que les pertes dans un acier à texture orientée sont moins importantes, ce qui augmente notablement le rendement de la machine.

On va maintenant examiner quelques procédés de fabrication du circuit magnétique selon l'invention, en tenant compte des diverses machines électriques mentionnées.

Une tôle d'acier dynamo ou une tôle magnétique à cristaux orientés disposée en rouleau est découpée en bandes dont la largeur est égale à la longueur du circuit magnétique à fabriquer. L'extrémité libre de la bande est fixée dans un dispositif de fixation en forme de champignon fendu. La bande entoure le dispositif de fixation en forme de champignon suivant son périmètre et ce dispositif effectue un mouvement de balancement. Des rouleaux serrent les dernières couches contre les couches précédentes, pour assurer ainsi la densité voulue du paquet de tôles repliées. Dès que les dimensions désirées sont atteintes, le paquet est séparé de la bande. L'extrémité de la bande est fixée sur le paquet par soudage, par exemple, et libérée du dispositif de fixation. A partir des paquets de tôle ainsi fabriqués, on assemble le circuit magnétique en reliant leurs extrémités deux par deux jusqu'à ce que le circuit magnétique soit ainsi complètement composé. Tout le système peut être réuni par un cylindre à parois minces disposé à la surface extérieure du circuit magnétique du stator. Les pôles formés par les extrémités contigües des blocs sont ensuite équipés des bobines d'enroulement qui sont reliées de manière à former le circuit électrique. On procède de manière analogue pour fabriquer le circuit magnétique du rotor à pôles saillants.

L'épanouissement polaire est formé à l'aide du dispositif de fabrication décrit ci-dessus, mais d'autres procédés de fabrication sont également possibles. Les pôles peuvent être obtenus par usinage des arêtes des plis et dotés

d'épanouissements fabriqués à part. Le procédé de fabrication du circuit magnétique de machine asynchrone monophasée à pôle à encoche est analogue au procédé ci-dessus décrit, à l'exception de l'opération d'exécution des encoches. Dans ce cas, les arêtes des plis en nombre égal au nombre d'encoches
5 et de largeur égale à la largeur de l'encoche longitudinale, sont raccourcies d'une valeur égale à la profondeur de l'encoche. Comme cette encoche longitudinale divise normalement le pôle en deux parties inégales, elle est décalée par rapport à l'axe de symétrie du pôle.

Pour fabriquer un module pour le circuit magnétique du rotor à pôles
10 saillants d'une machine synchrone, on a besoin d'un matériel de fabrication d'une forme légèrement différente de celle utilisée pour le stator de machine asynchrone, mais le principe de formation du paquet et la disposition des arêtes des plis restent les mêmes. Comme il a été décrit plus haut, la formation de l'épanouissement polaire peut être également effectuée après la formation
15 et la fixation du paquet. Dans ce cas, les arêtes les plus éloignées du centre du pôle sont obtenues de telle manière qu'elles soient plus longues que les arêtes centrales, puis elles sont pressées de manière à donner à la partie frontale une forme cylindrique et les arêtes plus longues sont serrées vers les parties extrêmes du pôle. Si nécessaire, la partie du pôle tournée vers l'entr
20 fer est soumise à un usinage, mais cette opération est effectuée après que tous les modules sont montés sur l'arbre et forment une structure finie.

La suppression de l'entrefer supplémentaire entre la zone de denture et la culasse permet d'améliorer les paramètres énergétiques de la machine électrique, et, en particulier, le coefficient de puissance, grâce à la diminution
25 du courant statorique qui se compose du courant d'aimantation et du courant de magnétisation de l'entrefer, ce dernier étant normalement de 4 à 5 fois supérieur au premier. Il est ainsi devenu possible d'employer de manière efficace des tôles à texture orientée pour circuits magnétiques dans lesquelles le flux magnétique dans le sens du laminage de la bande est de 14 à 15 % plus grand que
30 dans les tôles dynamo ordinaires. Ceci permet de réduire la section du circuit magnétique de 14 à 15 %. La machine électrique devient ainsi plus légère et les pertes dans le fer diminuent en conséquence proportionnellement au poids du circuit magnétique. Les pertes dans le fer diminuent, en outre, grâce à des pertes plus faibles dans les aciers à texture orientée, de sorte qu'on peut s'at
35 tendre à un meilleur rendement de la machine. Comme la résistivité des tôles pour transformateurs est 2 à 3 fois plus grande que la résistivité des aciers dynamo non alliés ou à alliage moyen, on diminue les pertes supplémentaires du aux harmoniques supérieurs, celles-ci étant inversement proportionnelles à la résistivité de l'acier. On peut obtenir une économie importante de métal,
40 puisque le circuit magnétique, selon l'invention est fabriqué sans déchets, le coefficient d'utilisation y étant de 0,98 à 1,0, tandis que dans les circuits

- magnétiques en feuilles empilées découpées à la presse, ce coefficient est de 0,3 à 0,6. On a également supprimé les opérations d'estampage et d'empilage qui sont peu productives et qui nécessitent un équipement lourd et puissant et un matériel de fabrication coûteux. Un autre avantage du circuit magnétique selon l'invention réside dans sa conception modulaire qui permet de remplacer, si nécessaire, facilement n'importe quelle partie du circuit magnétique et de simplifier le montage. Grâce à la modification de la configuration du circuit magnétique, on peut simplifier la carcasse de la machine électrique, car c'est désormais la paquet de tôles qui sert d'élément porteur.
- 10 Le fait de disposer les couches de la bande suivant l'axe de la machine électrique permet de modifier également les organes et les circuits de ventilation qui sont plus faciles à disposer dans le sens longitudinal de la machine que dans le sens transversal, ce qui permet d'en diminuer le diamètre.

- Bien entendu, l'invention n'est nullement limitée aux modes de réalisation décrits et représentés et elle est susceptible de nombreuses variantes, accessibles à l'homme de l'art, sans que l'on ne s'écarte de l'esprit de l'invention.
- 15

REVENDEICATIONS

1.- Circuit magnétique pour machine électrique à pôles saillants réalisé à partir d'éléments magnétiques présentant, chacun, une largeur égale à la longueur du circuit magnétique et disposés de manière à former des trajets magnétiques entre des pôles opposés, caractérisé en ce que les
5 éléments magnétiques (1, 2) sont réalisés à partir d'une bande ondulée continue (8) formée en un seul bloc, les plis de la bande continue (8) étant disposés entre les pôles opposés de manière à former en même temps un pôle et une partie de culasse (9).

2.- Circuit magnétique selon la revendication 1, caractérisé en ce
10 que son alésage est formé par les arêtes (10, 11) des plis réalisés de manière qu'ils soient inclinés dans le sens opposé au centre de chaque pôle.

3.- Circuit magnétique selon la revendication 2, caractérisé en ce que les plis sont réalisés de manière que leur inclinaison augmente au fur et à mesure de leur éloignement du centre du pôle (20) et qu'ils forment
15 un épanouissement (22) du pôle (20).

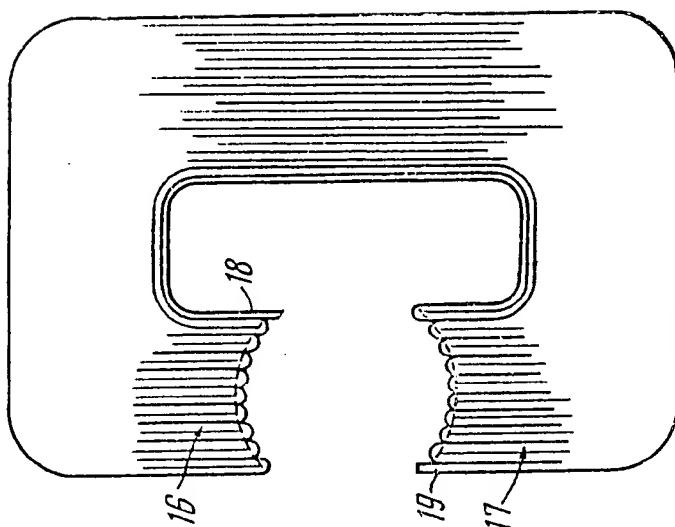


FIG. 2

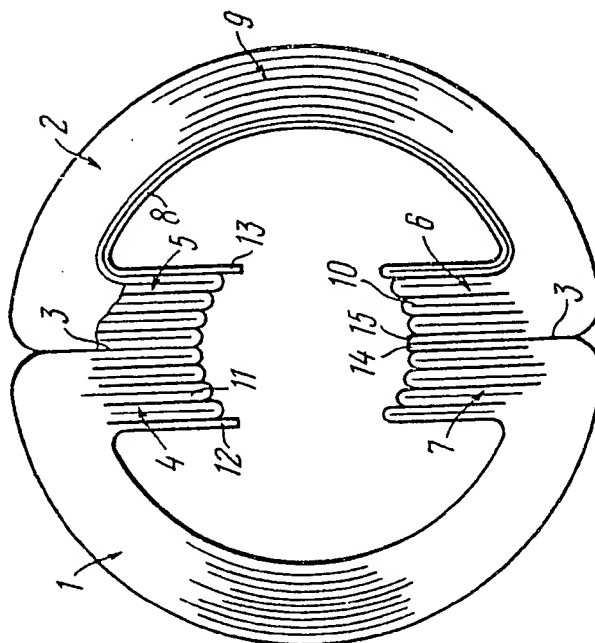


FIG. 1

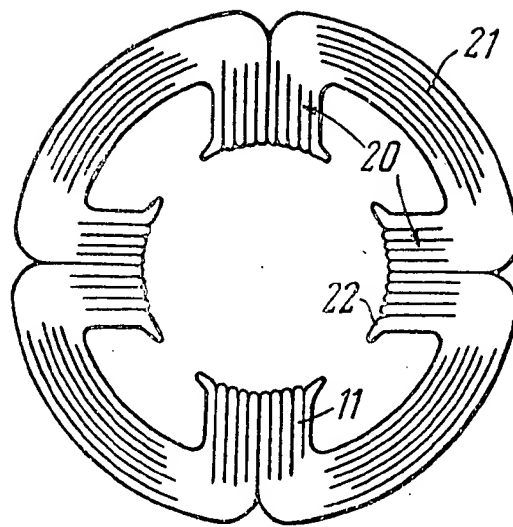


FIG. 3

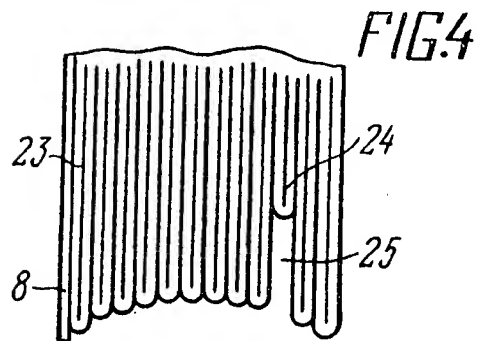


FIG. 4

